



水利水电国际资讯摘要

中国水利水电科学研究院主办

主编：孟志敏

责编：张诚 孟圆

总第 221 期 2017 年第 11 期

2017 年 6 月 22 日

Tel: 68786352 E-mail: internews@iwhr.com

- 深刻影响：物理建模的未来；
- 西北水工咨询公司使用实验方法推进水电设施泥沙管理解决方案；
- 大型海啸物理模拟器-用于研究海啸冲击的新型实验水槽

深刻影响：物理建模的未来

华霖富力研究有限公司（HR Wallingford）的快速流动设施是世界上最大的海洋试验设施之一，于 2014 年 10 月投入运营。一年后，这项设施率先启动物理建模。华霖富的团队：David Todd 博士是华霖富力研究有限公司的一位海洋科学家，负责运行快速流动设施，他拥有泥沙运输博士学位，自快速流动设施投入运营以来一直从事相关工作。James Sutherland 博士是华霖富力研究有限公司的技术总监，在近岸流体动力学、泥沙运输（包括沿海结构冲刷和海岸侵蚀）、海滩管理和海洋结构波力等方面拥有 25 年的丰富经验，他是国际水利与环境工程学会（IAHR）沿海与海事液压委员会副主席。John Harris 博士是华霖富力研究有限公司的技术总监、特许工程师和特许海洋科学家，具有数字流体动力学建模、湍流和泥沙运输方面的专业技能。Richard Whitehouse 教授是华霖富力研究有限公司的特许地理学家和技术总监，负责快速流动设施，他的主要研究领域是泥沙运输及河流、河口、沿海和海底环境地貌。

自实验室成立于 20 世纪 40 年代以来，物理建模一直是华霖富力研究有限公司的一大支柱。最初由两个人在两点之间推动一个造波板，另一个拿着秒表的人通过吹口哨来保持正确的时间，在一个大型户外水池中来制造波浪。可想而知，测试的时间很短。近 70 年后，快速流动设施启动运营。这一新的物理建模标准将把华霖富力研究有限公司的物理建模带向未来。快速流动设施是一种功能强大的设施，能够在深水中生成快速水流和大波浪，从而使得物理模型测试能够在更大尺度更深、更快地运行。第一年的运营已经开展了一系列商业运营，包括研究新型冲刷防护、潮汐涡轮机系统，最近还为丹麦油气能源公司 Danish Oil and Natural Gas (DONG Energy) 的海上风电相关结构进行了大量测试。（下转第二版）

（上接第一版）除此之外，该设施还与世界领先的学术机构及私营公司开展了令人兴奋的合作研究，旨在使华霖富水力研究有限公司处于科学发展的前沿地位。

华霖富水力研究有限公司的物理建模取得了一定进展，但随着过去 25 年间个人电脑、激光和声学仪器的出现，这种变化似乎并不显著。15 年前，冲刷实验依赖于一个或多个科学家在结构周围移动触敏床分析仪，以测量冲刷演化情况。这种方法允许在 30 分钟内产生约 125 个点的 8 个径向 - 每半小时总共约 1,000 个点。最近，华霖富水力研究有限公司已经在我们的波浪水池中使用了地面激光扫描系统，以允许更大、更可重复的覆盖，更少受到人为错误的影响。然而，这种技术要求设施无水，因为水面反射会导致测量误差。因此，这种技术除了适合用于完成防波堤护面运动识别等任务，并不适合新的快速流动设施。

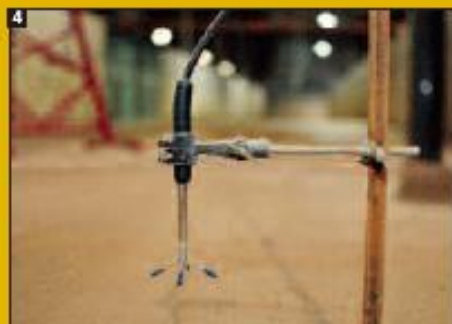
快速流动设施 4 米宽的主通道允许我们安装一个完全可编程的 x-y 移动台系统，将仪器上下移动到水槽中精确已知的位置。我们现在在水槽内部署水下激光扫描仪，能够在半小时内记录约 500 万个点，达到亚毫米精度——是 15 年前的 5000 倍。激光扫描仪能够覆盖具有良好时间分辨率的大区域，提供覆盖范围全面、代表所开展实验、可复制（因为每个点的确切位置是已知的）及较少受到人为错误影响的数据。此外，由于这些激光扫描仪可完全潜入水中，在实验过程中可以进行扫描，而无需停止测试或对设施进行排水。

图 1—水下激光扫描仪分析吸力式桶桩周围的测深

图 2—安装在快速流动设施中的 Aquadopp

图 3—冲刷试验之前的测波仪、吸力式桶桩和 Vectrino（右）

图 4—部署在快速流动设施中的 Vectrino II ADV



这些仪器在运营第一年均已成功应用于水槽中。最近为海上风电开发商 DONG Energy 开展的商业工作涉及探究传统单桩基础的替代方案。单桩基础往往用于较浅的近岸地区，随着海上风电进入更深的水域，需要在更大深度安装更大的单桩。这些因素导致单桩基础结构逐渐变得不再可行。因此，开发商正在设计和测试替代基础，以降低成本，并使海上风电在能源市场中保持竞争力。

即使在较深的水域，海上风电场通常位于受强潮流及急浪高浪影响的区域。这些情况可能导致冲刷，从而对涡轮机基础、电缆和交叉电缆的稳定性构成风险，而防护和减缓工程的成本十分高昂。冲刷防护优化工程仍在推进当中。由于试验设施的局限，通常仅在主要波浪条件下对冲刷防护设计进行测试。例如，为了覆盖北海和爱尔兰海的实际风险情况，快速流动设施在真实活床条件下再现波浪和潮流设计条件（包含移动泥沙、规模较大）的能力，对于优化和完善冲刷防护设计具有重要意义。

对于深水应用，DONG Energy 改进了一个新的吸力式多桶组合基础设计，作为传统单体的替代品。这种新结构需要进行物理模型测试，以确定结构与当地水动力条件和周围海床的相互作用及其影响。华霖富水力研究有限公司一直在开展冲刷响应物理模型测试，以优化吸力式多桶组合基础的设计，减缓冲刷发育。

这一测试的关键是，快速流动设施运行固定和活床条件的能力，以便调查潜在的冲刷深度及各种尺寸和等级护面块石的稳定性。收集不同流体动力条件下所需的防护规模和程度的信息对于冲刷防护结构的使用寿命至关重要。

在每次测试之前、之中和之后，使用水下激光扫描仪来测量水深，从而在时间和程度上了解冲刷发育的详细情况。使用 Aquadopp HR 分析仪和 Vectrino II 声学多普勒测速仪（ADV）收集的现有分布信息提供了设施中运行的流体动力学条件的记录。位于水槽不同点的双线波探头提供了详细的波谱，同时使用高清（HD）水下摄像机提供冲刷发育和护面稳定性的实时可视反馈。

随着新的测量功能的出现，物理建模技术在过去的 25 年间发生了显著变化，这些新功能允许从时空角度覆盖更大的测试区域。快速流动设施将带领华霖富水力研究有限公司走向物理建模的未来，在运营第一年就取得了巨大成功，利用最新技术完成了大规模的商业和研究项目。该设施的进展未显示出任何放缓的迹象，内部开发团队将在未来几个月内发布一套快速校准波探头和一个造波板升降系统。

摘自：https://www.engr.colostate.edu/ce/files/IAHR%20HydroLink_Issue%201%202016.pdf

西北水工咨询公司

使用实验方法推进水电设施泥沙管理解决方案

随着现有水电设施的逐渐老化、新设施的开发，这些设施上下游的泥沙管理反复被认定为项目生命周期的关键参数。50 多年来，西北水工咨询公司（Northwest Hydraulic Consultants, NHC）和 Lasalle | NHC 的专家一直利用内部液压实验室，辅以先进的数值方法、分析和实地调查，协助北美和南美洲及其他地区的客户开发有效管理项目泥沙的技术。

问题

水电项目的泥沙淤积和疏浚管理是全球面临的一个备受关注的问题。与水电设施泥沙淤积、疏浚和冲刷相关的最突出问题包括：蓄水流失、进水口进水量减少、设备损坏及项目下游退化，后者往往导致栖息地的丧失。当前的许多大型水电项目采取死库容设计来捕集泥沙，使用年限约为 50 年。由于许多设施目前正接近其设计使用年限，预计未来几年与上游泥沙淤积相关的问题将更加突出。采用最小库容设计但往往位于湍急的多泥沙河流上的较小型径流式设施，更可能受到年泥沙淤积的影响，必须通过某种方式将这些淤积的泥沙从进水口转移。

随着水库逐渐被泥沙填充，水位将下降，水库内的输沙能力将增加。这将导致更多的泥沙到达进水口，在低流量期间限制进入进水口的水量，增加对涡轮机和其他机械设备的磨损。对性能、运营和维护的相应影响可能对项目的经济和技术可行性产生巨大影响。2009 年，预估水库泥沙淤积导致的年度总损失额达到近 200 亿美元（ICOLD 2009），随着世界水库继续被泥沙所填充，这一数值预计将继续增长。

工具

水库在项目设计期间预测的时间之前被泥沙所填充，为此需要为现有设施制定修复性的泥沙管理措施。与此相类似，每年开发的新项目在设计阶段必须考虑泥沙管理措施。可用于分析和制定泥沙管理措施的工具包括：利用泥沙专家的经验，实施实地调查和监测系统，应用先进的数值分析，并在液压实验室开展小规模实验。在许多情况下，需要两种或以上工具来达成技术上可行的解决方案。

NHC 开展的实验通常包括“综合模型”和较大尺度的“断面模型”。综合模型代表水库和下游通道的相对较大区域，用于评估项目附近的悬浮泥沙和推移质泥沙的一般淤积模式和行为。这种综合模型的典型尺度通常在 1:40 和 1:100 之间。进水结构或除沙设施的断面模型则用于详细评估其性能，并完善其设计，以使其更有效地防止泥沙进入引水管道。综合和断面模型的示例如图 2 和图 3 所示。除了实验室实验之外，NHC 还经常应用先进的数值方法和实地调查来更好地了解实地发生的过程。这些方法既用于设计阶段，用于评估新设施的性能，同时也用于运营阶段，以评估设施修建以来的泥沙管理问题。数值分析和实地调查的结果通常用于确认其结果的物理模型的输入参数。

NHC 使用的数值方法包括一维、二维和三维模型，具有水动力学和形态学两个功能。NHC 近期开展的研究包括：使用 Telemac 2D 评估加拿大西部拟建水电开发项目下游的形态影响（图 4），评估美国某一现有水电开发项目拟建泥沙疏浚槽的效率（图 5）。实地监测研究包括在径流式项目的进水口上游安装浊度计和床层传感器，以提供对电厂运行至关重要的实时信息。最后，内部泥沙淤积和地貌专家使用这些工具生成的信息来开发旨在减缓泥沙淤积相关问题的解决方案。

解决方案

NHC 已经开发了必要的工具，与客户合作，为现有和拟建的水电设施（容量从不到 1 兆瓦到超过 2000 兆瓦）建立解决方案。这些解决方案随问题本身而异。对于小型的径流式开发项目，解决方案可以包括(i)实地监测以指导运营，(ii)控制泥沙源，(iii)在进水口上游安装泥沙导流墙或泥沙导流叶片，以及(iv)定期疏浚或冲洗淤积的泥沙。对于更大规模的开发项目，解决方案还可以包括：安装泥沙疏浚和/或除沙设施。在许多情况下，优选解决方案可能包括两种或以上方法。



Figure 2 - Comprehensive mobile-bed model using low density model sediments

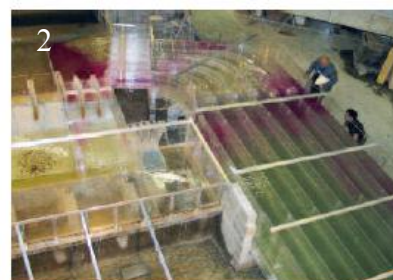


Figure 3 - Detailed section model of a desanding facility for a project in India

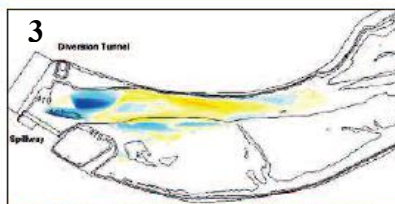


Figure 4 - Prediction of morphologic changes downstream of a proposed hydroelectric project in Canada using Telemac2D

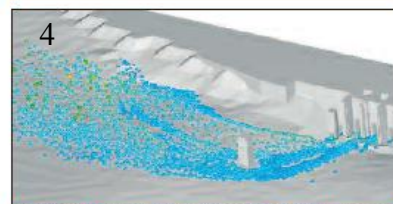


Figure 5 - CFD particle tracking used to assess the efficiency of a proposed sediment bypass tunnel at an existing hydroelectric project

这些解决方案的示例包括：加拿大西部的小型径流式开发项目，在其引水隧洞上游安装浊度计和床层传感器。运营商使用这些传感器信息来评估何时关闭水电站进水口，以保护涡轮机，及何时运行冲洗设施，以清除书库中淤积的泥沙。对于一个更大规模的项目，实地监测传感器、泥沙疏浚设施和除沙设施都被纳入设计当中，以管理进水口极高的泥沙量。在这种情况下，NHC 开展了大量的实地调查、数值模型分析和移动床物理模型研究，以形成实用、有效的解决方案。

下一步计划

随着现有水电项目的逐渐老化及新项目的开发，有效管理这些设施的泥沙的需求将不断增加。与此同时，专家的经验 and 调查工具的功能将不断改善，解决方案将不断发展。NHC 和 LaSalle | NHC 将继续提高其能力并扩大其“工具箱”，以协助客户开发泥沙管理相关的解决方案——无论是小溪流上 0.5 兆瓦的小型水电项目，还是世界上最大河流之一上 2000 兆瓦的大型水电项目。数值分析和实时实地传感器功能的进步有望帮助减少对大规模物理模型的依赖；然而，未来几十年内，对特定场址调查和创新解决方案开发所需的专业技能和实验能力的需求将继续增加。



图 包含实地监测传感器、泥沙疏浚设施和除沙设施的进水设施

摘自：https://www.engr.colostate.edu/ce/files/IAHR%20HydroLink_Issue%201%202016.pdf

大型海啸物理模拟器—用于研究海啸冲击的新型实验水槽

对于沿海地区的海啸灾害预防和减灾，有必要通过预测海啸强度和结构响应来评估沿海结构抵御海啸的安全裕度或失效概率。从大规模海啸冲击实验中获得的数据可用于开发评估技术。大型海啸物理模拟器设计用于具有实际海啸洪流量的大规模实验，安装在日本电力工业中心研究所。

海啸冲击与实验

2011年东北地震造成的海啸袭击了日本东北沿海的广大地区。地震和海啸造成15,000多人死亡，超过2,000人失踪，大量基础设施遭到破坏。为了帮助日本沿海地区预防灾害及减缓海啸损失，有必要评估沿海结构抵御海啸的脆弱性。在对沿海结构开展脆弱性评估时，需要预测可能的海啸洪流量、结构对海啸洪流量的响应以及结构的承受力，然后评估安全裕度或失效概率。通过结合数值模型和经验方程来预测海啸洪流量和结构响应。从结构抵御海啸冲击脆弱性的大规模实验中获得的数据，可用于验证数值模型和经验方程。此外，海啸防护结构的性能可以通过大规模实验得到确认。传统上使用具有四类水波产生器的水槽来开展海啸冲击实验室试验：活塞式水波产生器、抽取式水波产生器、气动水波产生器和闸门快速开启式（即溃坝洪水）水波产生器。根据2004年印度洋海啸和2011年东北地震海啸的经验，海啸洪流量波形复杂，且持续时间较长。由于造波板行程长度、泵性能、水槽长度和洪流量控制自由度方面的限制，难以利用这些水波产生器大规模地再现和控制此类实际的海啸洪流量。

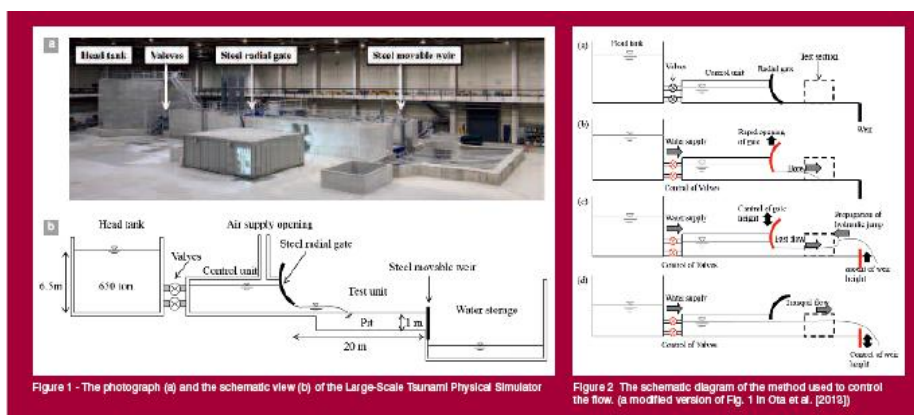


图 1 与图 2

我们的主要研究目标是对洪泛区开展脆弱性评估。因此，对实验设施的一个重要要求是生成和控制实际的海啸洪流量。在日本电力工业中心研究所（CRIEPI）安装的一个称为“大型海啸物理模拟器”的新实验设施，将能够生成和控制各种类型的当地大规模海啸洪流量。这种海啸产生方法使得可以在测试节段再现海啸洪流量。

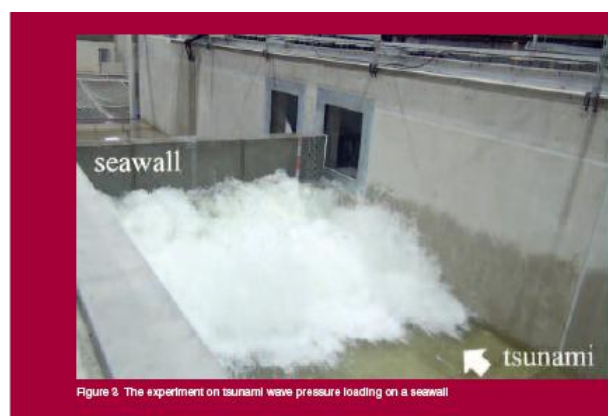


图 3

大型海啸物理模拟器的设计

图 1 显示了大型海啸物理模拟器的照片和示意图。该设施由高位槽、控制装置、测试装置和储水箱组成。高位槽的最大水量为 650 m^3 ，最大水深为 6.5 m 。控制装置是一个封闭式矩形水槽。测试装置是一个 20 m 长、 4 m 宽和 2.5 m 高的钢筋混凝土制成的开放水槽。为了获得水槽侧面的测量结果，在侧壁安装了四个约 $0.9 \text{ m} \times 0.9 \text{ m}$ 的亚克力观察窗。在测试装置的底部有一个深度为 1 m 的坑，用于进行冲刷实验。八个阀安装在连接高位槽和控制装置的八个管道上。径向钢闸门将控制装置与测试装置分开，移动钢堰将测试装置与储水箱分开。为了控制测试节段的海啸洪流量，八个阀门的孔径、闸门和钢堰高度由计算机进行控制。流量控制方法的示意图如图 2 所示（Ota 等人，2013 年）。快速打开径向闸门（就像溃坝流一样）将产生海啸孔。孔的淹没深度通过闸门高度控制。孔的速度通过控制装置中的水深控制。急流的速度和深度通过闸门和阀孔的高度来控制。此外，通过钢堰的顶部高度和阀孔来控制缓流。这种海啸产生方法使得可以在测试节段再现海啸洪流量。

海啸冲击实验

设施安装完成后，开展了一些海啸冲击实验，这里将简要描述其中两个实验。第一个是防波堤海啸波压力实验（Kihara 等人，2015 年）。在该实验中，在水槽的平坦底部设置了一个 1.5 m 高、 0.3 m 宽的垂直防波堤。我们测量了时长超过 80 s 的洪流量中防波堤正面压力的垂直分布。该实验清楚地表明，随着时间的推移，海啸波压力分布的特征和类型。第二个是碎片碰撞力实验（Takabatake 等人，2015 年）。实验中使用的碎片为原木和一辆真实的微型车。在测试装置中设置了可以测量碰撞力的垂直钢板。碎片最初放置在钢板的上游，允许其在孔中漂移，并与钢板碰撞。使用微型车的实验表明，冲击速度和碰撞力之间呈现非线性关系，而轴向刚度取决于冲击速度。这些实验结果将为海啸防护结构的设计和脆弱性评估提供有用知识。

摘自：https://www.engr.colostate.edu/ce/files/IAHR%20HydroLink_Issue%201%202016.pdf